

### Handlungsbaustein Diagnose im Interaktionssystem: technische Unterstützung erfahrungsbasierter Störungsbewältigung in der Serienfertigung

Schulze, Hartmut; Litto, Marco; Storr, Alfred; Rose, Helmuth

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerksbeitrag / collection article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

SSG Sozialwissenschaften, USB Köln

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schulze, H., Litto, M., Storr, A., & Rose, H. (1999). Handlungsbaustein Diagnose im Interaktionssystem: technische Unterstützung erfahrungsbasierter Störungsbewältigung in der Serienfertigung. In H. Rose, & H. Schulze (Hrsg.), *Innovation durch Kooperation: nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung* (S. 171-197). Frankfurt am Main: Campus Verl. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-237469>

#### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

#### Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

**Hartmut Schulze, Marco Litto, Helmuth Rose, Alfred Storr**

## **Handlungsbaustein Diagnose im Interaktionssystem – Technische Unterstützung erfahrungsbasierter Störungsbewältigung in der Serienfertigung**

1. Zielsetzung für das HÜMNOS-Diagnosemodul aus Sicht von Anwendern und Herstellern
2. Analyse der Störungsbewältigung
3. Anforderungen an ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem
4. Konzept für ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem
5. Realisierung des HÜMNOS-Diagnosemoduls
6. Zusammenfassung und Ausblick

Im HÜMNOS-Verbund wurde ein Prototyp für den Handlungsbaustein „Diagnose“ im Interaktionssystem entwickelt und in ersten Evaluationen von Fachkräften bewertet. Mit dem HÜMNOS-Diagnosemodul konnte das Potential einer offenen Steuerungsarchitektur für die Entwicklung wiederverwendbarer und nutzerorientierter Anwendungsapplikationen exemplarisch demonstriert werden. Der Prototyp setzte dabei sowohl auf einer Schwachstellenanalyse bisheriger Diagnosesysteme als auch auf einer vertiefenden Untersuchung des Arbeitshandelns von Produktionsmitarbeitern vor Ort bei der Störungsbewältigung auf. In diesem Beitrag werden Anforderungen an ein verbessertes Diagnosesystem für die Serienfertigung aus Sicht von Hersteller- und Anwenderunternehmen und aus der Sicht von Werkern und Instandhaltern dargestellt. Darauf aufbauend wird das Diagnosemodul in seiner Konzeption und Realisierung beschrieben.

# 1. Zielsetzung für das HÜMNOS-Diagnosemodul aus Sicht von Anwendern und Herstellern

Entwicklung, Optimierung und Pflege von Diagnosesystemen erfordern im Maschinen- und Anlagenbau eine enge Kooperation zwischen Herstellerbetrieben und Anwenderfirmen. Absprachen zwischen Herstellern und Anwendern sind um so mehr gefordert, je mehr Anwendungsmodulare auf die spezifischen Bedingungen der Produktionsarbeit beim Anwender vor Ort hin ausgelegt werden sollen. Dabei unterscheiden sich jedoch die Anforderungen und Perspektiven, die Hersteller und Anwender jeweils mit der Entwicklung von Diagnosesystemen verbinden.

## 1.1 Ziele von Anwenderunternehmen

Für Anwenderfirmen stehen die *Leistungsfähigkeit* und die *einfache Benutzbarkeit* von Diagnosesystemen bei der Störungsbewältigung im Vordergrund. Trotz hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwands liegt die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen in der Serienfertigung seit Ende der 80er Jahre bei ca. 70 % (vgl. Schüpbach 1994, S. 64). Die bisher mit der Perspektive einer möglichst automatischen Ursachenerkennung entwickelten Systeme sind offensichtlich nicht in der Lage, die Ausfallzeiten entscheidend zu verringern. Weiterhin sind zusätzliche Applikationen aufgrund fehlender Schnittstellen zwischen Steuerungen und Anwendungsmodulen nur mit enormem Zusatzaufwand in einen bestehenden Maschinen- und Steuerungspark integrierbar. Die große Vielfalt der eingesetzten Systeme erschwert eine einheitliche Benutzung aufgrund der unterschiedlichen Handhabungslogiken. Insbesondere ist eine flexible Betreuung – wie für erfolgreiche Gruppenarbeit erforderlich – behindert, da nicht alle Mitarbeiter alle Steuerungen gleichermaßen beherrschen. Insofern haben die Anwender vor allem ein Interesse an Diagnosesystemen, die sich nach Art lernender Systeme an die spezifischen Rahmenbedingungen vor Ort adaptieren lassen und deren Benutzung nutzerorientiert und nach herstellerübergreifend einheitlichen Prinzipien organisiert ist.

## 1.2 Ziele von Herstellerunternehmen

Für Hersteller von Diagnosesystemen sind die *kostengünstige Entwicklung* und *Optimierung* sowie die *Wiederverwendbarkeit entwickelter Lösungen* entscheidend. Fehlende Schnittstellen zu den Steuerungen stellen

dabei ein gravierendes Hindernis dar. Dies wird besonders dann deutlich, wenn in verketteten Systemen im Verbund von Steuerungen verschiedener Hersteller Diagnoseinformationen bereitgestellt und verarbeitet werden sollen. In der Regel ist ein besonderer Anpassungsaufwand notwendig, um auf benötigte Daten einheitlich in der gesamten Anlage zugreifen zu können. Aufgrund des Kostendrucks in der Werkzeugmaschinenindustrie liegt hier der gemeinsame Nenner häufig bei nur einer Schnittstelle, die es erlaubt, Fehlermeldungen verschiedener Steuerungen einheitlich anzuzeigen. Für die Praxis ist dies oft nicht ausreichend.

Einer Wiederverwendbarkeit entwickelter Module und technischer Lösungen, die für eine günstige Kosten-Nutzen-Bilanz auf seiten der Hersteller ausschlaggebend ist, stehen ebenfalls Hindernisse entgegen. Bisher ist es den Herstellern z.B. noch kaum möglich, die in steuerungsinternen Logbüchern bei Anwendern erfaßten Störungsdaten übergreifend auszuwerten und für ähnliche Situationen zu nutzen. Eine Ursache hierfür liegt in der mangelnden Strukturierung der Informationen in Logbüchern.

### **1.3 Offene Steuerungsarchitektur als Lösungsansatz**

Neue Möglichkeiten, die Anforderungen der Hersteller mit denen der Anwender zu vereinen, eröffnete das Projekt OSACA (vgl. Idas-Osaca 1997). In dem auf OSACA aufsetzenden Projekt HÜMNOS wurde der Lösungsansatz verfolgt, mittels der Entwicklung praxisgerechter Anwendungsmodule die Potentiale offener Steuerungen exemplarisch zu demonstrieren. Eine dieser Applikationen stellte ein Diagnosemodul dar, das einerseits herstellerübergreifend und wiederverwendbar einsetzbar sein und andererseits das Arbeitshandeln von Werkern und Instandhaltern bei der Störungsbewältigung besser als bisher unterstützen sollte.

## **2. Analyse der Störungsbewältigung**

Zur Ableitung von Anforderungen an ein Diagnosemodul zur besseren Unterstützung von Nutzern wurde im Projekt HÜMNOS zweigleisig vorgegangen. Einer Analyse von Schwächen und Defiziten der in der Serienfertigung eingesetzten Diagnosesysteme schloß sich eine Untersuchung des Handelns von Werkern und Instandhaltern bei der Bewältigung von Störungen an. Zu diesem Zweck wurden schichtbegleitende Beobachtun-

gen des Arbeitshandelns vor Ort und fokussierte Interviews mit Fachkräften durchgeführt. Ausgangspunkt der Störungsbewältigung stellen in der Serienfertigung ganz überwiegend Maschinenstillstände dar, die von den Fachkräften schnellstmöglich bemerkt werden müssen. Die Wahrnehmung sich anbahnender Störungen, die in der Einzelfertigung u.a. im Rahmen des Projekts CeA (Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit) untersucht wurde (vgl. Martin 1995), nahm in den Untersuchungen einen geringeren Stellenwert ein und wird daher an dieser Stelle vernachlässigt.

## 2.1 Schwachstellen herkömmlicher Diagnosesysteme

Die im Projekt HÜMNOS durchgeführte *Schwachstellenanalyse* offenbarte gravierende Defizite der Diagnosesysteme, die in den Anwenderbetrieben im Bereich der Serienfertigung zum Einsatz kamen. Als besonders hinderlich erwies sich ihre mangelnde Eignung, Werker und Instandhalter bei der Störungsbewältigung angemessen zu unterstützen. Insbesondere setzten die Systeme nicht am Erfahrungswissen der Fachkräfte an; eine diesbezügliche Unterstützung fehlte nahezu gänzlich. Tabelle 1 zeigt eine Ergebnisübersicht, in der charakteristische Schwachstellen zentralen Handlungsabschnitten der Störungsbewältigung zugeordnet sind, die weiter unten dargestellt werden.

Die *mangelnde Adaptierbarkeit* an spezifische Fertigungsbedingungen hat sich in den empirischen Untersuchungen als eine der größten Schwachstellen herkömmlicher Diagnosesysteme erwiesen. Eine Anreicherung der Datenbasis mit neuen oder zusätzlichen Störinformationen und mit Erfahrungswerten ist überwiegend nicht vorgesehen. Die befragten Werker und Instandhalter formulierten einen großen Technikbedarf in Richtung einer angemesseneren Unterstützung bei der Bewältigung von Erststörungen wie auch von Wiederholstörungen. Dabei bietet gerade auch eine bessere technisch-organisatorische Unterstützung der Bewältigung von Wiederholstörungen ein relevantes Produktivitätspotential. In den empirischen Untersuchungen fiel der hohe Anteil von Störungen auf, die den Fachkräften vor Ort bekannt waren. Abbildung 1 zeigt die von Workern und Instandhaltern grob geschätzte Verteilung von Störfällen in der Serienfertigung.

Handlungs- abschnitt	Schwachstellen von Diagnosesystemen
<b>Störungs- wahrnehmung und Ursachen- klärung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlerbeschreibungen des Systems sind häufig falsch, ungenau, mehrdeutig und nicht maschinenspezifisch oder fehlen</li> <li>• Fehlerbeschreibungen geben kaum Hinweise auf den Fertigungskontext und die Störungshistorie</li> <li>• Fehlerklassifikationen können nicht maschinenspezifisch angepaßt werden</li> <li>• Neue Störgründe können nicht ergänzt werden</li> <li>• Der Störort kann nicht angezeigt werden</li> </ul>
<b>Störungs- behebung und Wiederanfahrt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hinweise für Störungsbehebungen fehlen häufig</li> <li>• Dokumentationen der Elektrik, der Mechanik und Beschreibungen von Maschinenfunktionen sind häufig nicht an der Maschine zugreifbar</li> <li>• Hinweise und Funktionen zum störungsfreien Spindelrückzug in die Grundstellung sind nicht vorgesehen</li> </ul>
<b>Dokumen- tation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentieren wird technisch unzureichend unterstützt</li> <li>• Die Tätigkeit des Dokumentierens ist nicht in die Mensch-Maschine-Interaktion einbezogen</li> <li>• Schwachstellenanalysen sind erschwert, da Diagnosedaten und sonstige Produktionsdaten getrennt archiviert werden</li> </ul>
<b>Benutzen des Systems</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übertragen von Benutzungserfahrung von einem System auf ein anderes ist infolge hersteller- und generationsspezifischer Unterschiede behindert</li> <li>• Orientierung über das System ist infolge tief gestaffelter Menüs und durch die Verwendung facharbeitsfremder Begriffe erschwert</li> </ul>

**Tab. 1: Schwachstellen herkömmlicher Diagnosesysteme**

Der hohe Anteil der von den Werkern direkt behobenen Störungen deckt sich mit früheren Untersuchungen. Schüpbach und Kuark ermittelten in einem weitgehend automatisierten Fertigungssystem einen Anteil selbst behobener Störungen an der Gesamtzahl aller störungsbedingten Maschinenstillstände von „rund 70 %“ (vgl. Schüpbach 1994, S. 111). Der Zeitvorteil einer unmittelbaren Bewältigung vor Ort ließe sich noch steigern, wenn die Behebung von Wiederholstörungen besser unterstützt würde. Vor diesem Hintergrund kommt der Organisation eines Erfahrungsaus-

tauschs eine herausragende Bedeutung zu. Sowohl in der Gruppe von Facharbeitern als auch in der Gruppe der Instandhalter ist im Vergleich zum Erfahrungsspektrum einer einzelnen Fachkraft eine größere Anzahl von Störungen bekannt. Bei der Dokumentation und beim Austausch von Erfahrung werden die Fachkräfte bisher technisch und organisatorisch jedoch kaum unterstützt. Infolgedessen wurde in den Untersuchungen z.B. nur von sporadisch stattfindenden Gruppenbesprechungen im Anschluß an besonders gravierende oder exemplarische Störungen berichtet. Auch das Anfertigen von Dokumentationen geschieht eher selten – zu groß sei der Produktionsdruck direkt im Anschluß an eine Störung.

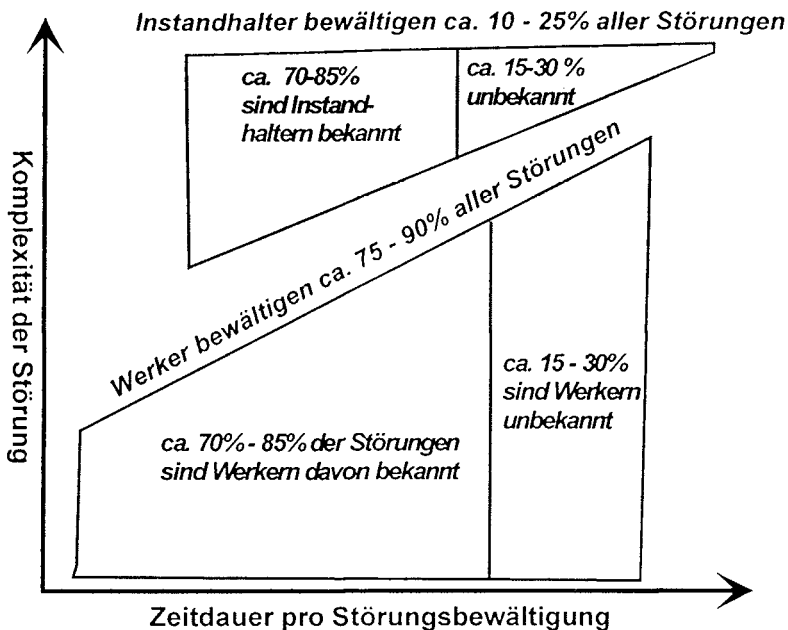


Abb. 1: Schätzung von Störungsanteilen

## 2.2 Merkmale der Störungsbewältigung von Produktionsarbeitern

Das Handeln von Fachkräften bei der Störungsbewältigung basiert sowohl auf Fachwissen, z.B. über den Systemaufbau und -ablauf, als auch auf praktischen Erfahrungen mit Störungsverläufen. Der Einfluß von Fachwissen und kognitiven Diagnosestrategien ist in der Literatur bereits

breit beschrieben (vgl. Konradt 1996). Weniger gut erforscht ist der Einfluß der Erfahrung und deren Wechselwirkung mit dem Fachwissen und dem Handeln (vgl. Wehner, Waibel 1996). Im folgenden werden auf der Basis der Analysen Merkmale der Störungsbewältigung in Zusammenhang mit der Erfahrung von Produktionsarbeitern beschrieben.

### 2.2.1 Die Handlungssequenz „Störungsbewältigung“

In den Analysen des Arbeitshandelns zur Bewältigung von Störungen fand sich eine typische Abfolge von Handlungsabschnitten, im folgenden Handlungssequenz genannt. Die einzelnen Handlungen der Werker und Instandhalter gliedern sich in unterscheidbare Abschnitte, die im Idealfall von der Wahrnehmung einer bereits eingetretenen Störung bis hin zur Dokumentation reichen:

- *Störungswahrnehmung*: Die Werker sind in der Regel die ersten, die auf einen Maschinenstillstand oder ähnlich gravierende Folgen eines Fehlers im Maschinen- und Anlagensystem aufmerksam werden. Den ersten Schritt einer Störungsbewältigung beschrieben sie als ein Aufmerksam-Werden auf eine eingetretene Störung. Die Instandhalter werden demgegenüber erst aktiv, wenn sie von den Werkern hinzugezogen werden.
- *Ursachenklärung*: Das Vorgehen der Werker und Instandhalter bei der Klärung der Ursachen einer Störung umfaßt verschiedene Aspekte. Charakteristisch findet sich ein voranschreitender Orientierungsprozeß, der sich auf die mit der Störung einhergehenden Merkmale bezieht. In der Regel handelt es sich um Informationen, die ohne ein Verfahren der Maschine zugänglich sind. Darüber hinaus kennzeichnet sich die Ursachenklärung durch einen mehr oder weniger expliziten Prozeß der Hypothesenbildung und -prüfung, in dessen Verlauf dann auch Maßnahmen ergriffen werden, die eine Veränderung des Maschinenzustands nach sich ziehen. Ein sehr häufiger Eingriff besteht in diesem Zusammenhang in der vorsichtigen Reproduktion der Störung durch ein Wiederanfahren der Maschine.
- *Störungsbehebung*: Haben die Werker bzw. die Instandhalter Fehler als ursächlich für die Störung identifiziert, so ergreifen sie Maßnahmen mit dem Ziel, die Störungsursache zu beheben. Werden z.B. kurzfristige Irritationen der sensorgesteuerten Überwachungssysteme durch



Späne erkannt, besteht die Störungsbehebung lediglich in einem „Wegdrücken“, d.h. in einem Quittieren der Fehlermeldung über die Steuerung. Auch das Hinzuziehen von Experten (z.B. Kollegen, Systemführer, Instandhalter oder Monteure der Herstellerfirma) im Anschluß an die Bewertung, daß eine eigene Behebung mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist, stellt hier eine Maßnahme zur Behebung dar.

- *Wiederanfahrt:* Nach der (beabsichtigten) Behebung der Störungsurache wird die Produktion wieder angefahren – probeweise und vorsichtig. Die Wiederanfahrt stellt dabei nicht nur den Abschluß der Störungsbewältigung dar. Ihr kommt vielmehr innerhalb der Handlungssequenz eine bedeutsame Kontrollfunktion zu, indem sie Aufschluß darüber gibt, ob der ursächliche Fehler tatsächlich identifiziert und behoben wurde, oder ob weitere Maßnahmen zur Ursachenklärung und Behebung notwendig sind.
- *Dokumentation:* Die Handlungssequenz der Störungsbewältigung endet aus Sicht der Werker und Instandhalter mit dem Dokumentieren der Merkmale der Störung, der identifizierten Ursachen und der letztlich erfolgreichen Maßnahmen zur Störungsbehebung, um eine Bewältigung im Wiederholungsfall zu unterstützen.

In jedem dieser einzelnen Abschnitte der Handlungssequenz zur Störungsbewältigung fanden sich mitlaufende Bewertungsschleifen. Die Fachkräfte wogen immer wieder den Aufwand und Nutzen von in Frage kommenden Maßnahmen zur Störungsbewältigung ab. In Tabelle 2 sind den verschiedenen Handlungsabschnitten Einzeltätigkeiten zugeordnet, wie sie sich in den Beobachtungen und Interviews herauskristallisiert haben.

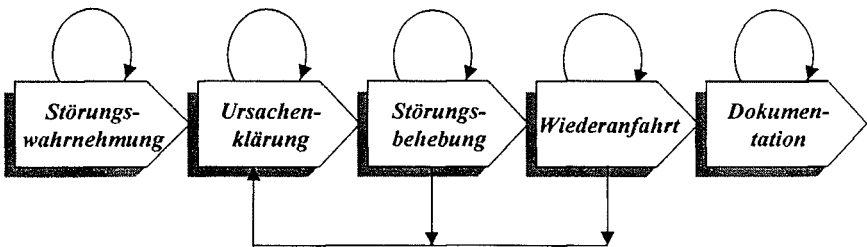
Die dargestellte Handlungssequenz zur Störungsbewältigung bildet in ihrer Gesamtheit ein idealisiertes Vorgehen ab, wie es die Werker und Instandhalter in den Interviews als optimal beschrieben haben. In der Praxis fanden sich in allen Abschnitten mehr oder weniger große Behinderungen. Wie schon erwähnt, wurde nur sehr vereinzelt und nahezu ohne jede technische Unterstützung dokumentiert, wobei gleichzeitig das Festhalten bewältigter Störungen als besonders wichtig für eine effiziente Bewältigung von Wiederholstörungen angesehen wurde.

Die einzelnen Handlungsabschnitte der Sequenz werden von den Workern und Instandhaltern in ihrem Inhalt und in ihrer Aufeinanderfolge

Handlungs- abschnitte	Typische Einzeltätigkeiten
<b>Störungs- wahrnehmung</b>	Aufmerksam werden auf eine Störung u.a.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• anhand von Störlampen</li> <li>• anhand von Fehlermeldungen des Diagnosesystems</li> <li>• anhand von Meldungen aus der Qualitätsprüfung</li> </ul>
<b>Ursachen- klärung</b>	Orientieren und Bemerken von Auffälligkeiten durch Begutachten u.a.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• des Bearbeitungsstands</li> <li>• des Werkzeug- und Werkstückzustands</li> <li>• der Spindelstellung</li> <li>• des Bearbeitungsinnenraumes</li> </ul> Bilden und Prüfen von Hypothesen über die Störungsursachen u.a. durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfen symptombezogener Erfahrungswerte</li> <li>• tastende Suche nach weiteren Merkmalen und Symptomen (z.B. Rekonstruktion der Störung mittels Wiederanfahren)</li> <li>• Eingrenzen von Störort und Störart</li> <li>• Hinzuziehen von „Experten“</li> </ul>
<b>Störungs- behebung</b>	Beseitigen von Störungsursachen u.a. durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Quittieren“ der Störung über die Steuerung</li> <li>• Austausch defekter Teile</li> <li>• Reparatur</li> </ul>
<b>Wieder- anfahrt</b>	Wiederanfahren der Maschine u.a. durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Freifahren“ der Spindel in Grundstellung</li> <li>• satzweises Abfahren des Bearbeitungsprogramms</li> <li>• Umschalten in den Automatikbetrieb</li> </ul>
<b>Dokumen- tation</b>	Aufbereiten von Erfahrung u.a. durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• individuelle Störungsbücher (z.B. Skizzen über Fehlerort, Beschreibung von Symptomen, Ursachen und Behebungsmaßnahmen)</li> <li>• maschinenspezifische Störungsbücher</li> <li>• Erfahrungsaustausch in der Gruppe über exemplarische Störfälle im Anschluß an eine Störungsbewältigung</li> </ul>

**Tab. 2: Einzeltätigkeiten der Störungsbewältigung**

flexibel an die jeweilige Störsituation angepaßt, z.B. wird nicht immer die gesamte Abfolge vollständig durchlaufen. Zum Teil erkennen die Fachkräfte schon bei der ersten Orientierung, daß es sich um eine sehr komplexe Störung handelt, die sie nur mit viel Aufwand selbst beheben können. In solch einem Fall ziehen sie dann sofort weitere Experten hinzu. Die Sequenz kann während eines Störungsfalles auch mehrmals durchlaufen werden, wenn z.B. bei der ersten Störungsbewältigung der ursächliche Fehler nicht behoben wird. Ebenso handelt es sich des öfteren auch nicht um einen Hypothesenbildungsprozeß im eigentlichen Sinn. Häufig prüfen die Werker und Instandhalter unmittelbar die bereits infolge der ersten Begutachtung aufgrund ihrer Erfahrung „vor Augen stehenden“ wahrscheinlichen Fehlerquellen. Die flexible Abfolge der einzelnen Abschnitte der Handlungssequenz ist in Abbildung 2 veranschaulicht:



**Abb. 2: Handlungssequenz Störungsbewältigung**

Das Besondere der beschriebenen Handlungssequenz liegt für die Werker darin, daß sie ihnen Orientierung verschafft, in welchem Schritt der Störungsbewältigung sie sich befinden. Durch die Unterteilung der Störungsbewältigung in verschiedene Abschnitte und basierend auf ihren Erfahrungen mit der zeitlichen Struktur von Störungsverläufen sind sie in der Lage, nach Bewertung von Aufwand und Nutzen situationsoptimale Maßnahmen einzuleiten.

## 2.2.2 Der Stellenwert von Erfahrung bei der Störungsbewältigung

Der Erfahrung der Fachkräfte kommt bei der Störungsbewältigung in jedem Abschnitt der Handlungssequenz eine herausragende Bedeutung zu. In den Beobachtungen des Arbeitshandelns im Rahmen der empirischen Untersuchungen fand sich ein großes Spektrum *erfahrungsbasierter Erkenntnisleistungen*.

Bereits beim ersten Orientieren über eine Störung, z.B. anhand der Störungsmeldung oder durch einen „Blick“ in den Maschineninnenraum, fallen erfahrenen Fachkräften Abweichungen vom Normalzustand auf. Diesem Erkennen von Ungewöhnlichem und Abweichendem liegen Vorstellungen darüber zugrunde, was in einer spezifischen Situation als normal anzusehen ist (vgl. Schulze, Witt 1997). Eine solche Hintergrundvorstellung eines Normallaufs wird im täglichen Erleben des Fertigungsprozesses mit den Maschinen und ihren spezifischen „Macken“ oder „Marotten“ (Fischer u.a. 1995) erworben. Im Erleben zeigt sich das Entdecken von Abweichendem als ein Spektrum von Wahrnehmungen, die von vagen und gefühlsmäßigen Ahnungen bis hin zu einer hohen Gewißheit reichen, daß einem bestimmten Symptom in einem spezifischen Fertigungskontext eine bestimmte Ursache zugrundeliegt. Solche auf Erfahrung beruhenden Verknüpfungen zwischen Symptom und Ursache sind mit *symptombezogenen Erfahrungswerten* gemeint. Die folgende Beschreibung einer Störungsbewältigung aus der teilnehmenden Beobachtung gibt hierfür ein charakteristisches Beispiel: Ein Facharbeiter an einer Transferstraße untersuchte bei der Fehlermeldung „Werkzeugbruch“ am Montagmorgen bei Schichtbeginn direkt die zu diesem Zeitpunkt an dieser Anlage sehr häufig auftretende Ursache „verharztes Kühlschmiermittel auf der Werkzeugschneide“ durch Inaugenscheinnahme des Werkzeugs. In dem Fall verstand der Werker aufgrund seiner Erfahrung die Fehlermeldung „Werkzeugbruch“ als Symptom für eine ganz bestimmte Ursache. Typisch an dieser Beobachtung ist, daß Werker, wenn sie eine aktuelle Störung aufgrund der Merkmale und Symptome als weitgehend ähnlich zu einem bereits bekannten Störfall erkennen, direkt prüfen, ob die bekannte Fehlerursache für die aktuelle Störung zutrifft. Symptombezogene Erfahrungswerte ermöglichen die Bewältigung von ca. 75 bis 90 % aller auftretenden Störungen (s. Abb. 1).

Über die Entdeckung von Abweichungen vom Normalen und über die Ausbildung von symptombezogenen Erfahrungswerten hinaus zeigt sich Erfahrung bei der *Auswahl und dem Einsatz von Vorgehensweisen*, wenn die Störung den Werkern unbekannt ist. In solchen Fällen stehen ihnen keine symptombezogenen Erfahrungswerte über wahrscheinliche Ursachen zur Verfügung. In den teilnehmenden Beobachtungen konnten mehrere Vorgehensweisen bei der Ursachenklärung (s. Abb. 2) neuer bzw. unbekannter Störungen unterschieden werden:

- Eine Vorgehensweise läßt sich als ein *tastendes Suchen* nach aussagekräftigen Symptomen und Merkmalen beschreiben. Hierzu zählt u.a.

die Rekonstruktion einer Störung durch das schrittweise Wiederanfahren der Maschine. Auch die Suche nach weiteren Symptomen, die zunächst nicht unmittelbar zugänglich sind – wie beispielsweise das Messen von elektrischen Spannungszuständen an bestimmten Meßpunkten –, ist hierfür typisch.

- Eine weitere Vorgehensweise besteht in einem *Eingrenzen von Ort und Art der Störung*. Fachkräfte unterscheiden z.B. zwischen *Maschinenstörungen* und *Prozeßstörungen* und versuchen eine Zuordnung der vorliegenden Störung in diese Kategorien. Einer Maschinenstörung liegt ein Ausfall oder ein Verschleiß von Maschinenkomponenten zugrunde. Ein typisches Beispiel ist der Ausfall eines Näherungsschalters durch Kühlschmiermittel. Weitere Differenzierungen betreffen die Art der Maschinenkomponenten (z.B. mechanisch oder elektrisch). Von einer Prozeßstörung sprechen die Fachkräfte dann, wenn eine Störung durch Einflußgrößen ausgelöst wird, die in Zusammenhang mit der spanenden Bearbeitung stehen. Dazu zählen z.B. Spanflug, Programmparameterfehler, Werkzeugverschleiß und -bruch. Maßnahmen zum Eingrenzen von Störungen gehen in komplexen Fällen bis hin zum systematischen Nachvollzug des Systemablaufs (z.B. Spannungsverläufe).
- Im Falle neuer Fehler kommt darüber hinaus ein weiteres Prinzip zum Zuge, das sich als *kooperative Störungsbewältigung* bezeichnen läßt. Je nachdem, ob es sich um eine Störung handelt, von der bekannt ist, daß sie von der Fachkräftegruppe schon einmal bewältigt wurde (Hinzuziehung von Kollegen), es sich um einen Bearbeitungsprogrammfehler handelt (Hinzuziehung von Programmierern), ein mechanisches Bauteil (Hinzuziehung von Instandhaltern mit der Fachrichtung Schlosser) oder ein elektrisches Bauteil defekt ist (Hinzuziehung von Instandhaltern mit der Fachrichtung Elektriker), werden verschiedene Experten hinzugezogen.

Bei all diesen Vorgehensweisen im Falle einer den Fachkräften unbekannten Störung geht es ihnen darum, möglichst schnell einen Überblick über das Ausmaß der Störung, ihren Ort und ihre Art zu gewinnen. Dies ist notwendig, um einerseits Aufwand und Nutzen einer eigenen Bewältigung abzuwägen und um andererseits jene Experten hinzuziehen zu können, die für eine Bewältigung aufgrund ihrer Fachkenntnisse und Erfahrung am ehesten geeignet sind. Die Erfahrung der Werker zeigt sich somit bei bekannten oder ähnlichen Störungen in Form systembezogener

Erfahrungswerte und bei neuen Störungen in Auswahl und Durchführung geeigneter Vorgehensweisen.

### 2.2.3 Merkmale kooperativer Störungsbewältigung durch Werker und Instandhalter

In den Untersuchungen konnte des öfteren eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Werkern und Instandhaltern auf der Basis eines gegenseitigen Erfahrungsaustauschs beobachtet werden. Dabei stellt die Integration der verschiedenen Perspektiven und Sichtweisen eine besondere Leistung dar. Die jeweiligen Sichtweisen gründen auf Vorstellungen über den Prozeßablauf und über die Funktions- und Benutzungsbedingungen des Maschinensystems. Die entstehende Transparenz der ablaufenden Prozesse und Eingriffsmöglichkeiten wird geprägt durch die Art und Weise des täglichen Handelns. Die jeweiligen Orientierungen des Handelns und die resultierenden unterschiedlichen Ausformungen von Transparenz bei Werkern und Instandhaltern zeigt Abbildung 3.

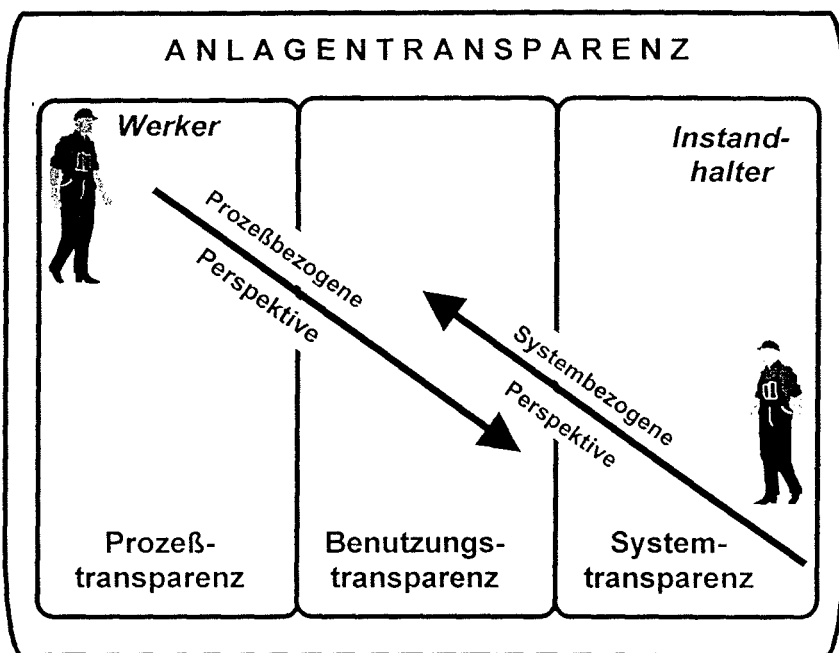


Abb. 3: Sichtweisen von Werkern und Instandhaltern

Werker nähern sich Störungen vom technologischen Bearbeitungsprozeß her. Dies resultiert aus ihrer fertigungsbezogenen Handlungsorientierung; ihr Handeln zielt vor allem auf die Optimierung und Aufrechterhaltung des Bearbeitungsprozesses ab. Instandhalter denken stärker in Maschinen- und Systemabläufen, ihr Handeln ist auf das möglichst schnelle Wiederherstellen der maschinellen Funktionsfähigkeit ausgerichtet. Werker und Instandhalter bilden somit entsprechend ihres Handlungs- und Erfahrungshintergrundes unterschiedlich ausgeprägte Transparenzformen aus, die sie in die gemeinsame Störungsbewältigung einbringen:

- *Werker* bringen vor allem eine ausgeprägte *Prozeßtransparenz* ein, die auf Informationen aus dem Bereich des Bearbeitungsprozesses gründet, z.B. auf Informationen über vollzogene Bearbeitungsschritte, über den Spindelstand oder über den Werkstückzustand. Ihre Transparenz über die Benutzung des Maschinensystems bezieht sich hauptsächlich auf die Verwendung und Handhabung technologischer Funktionen, so z.B. zum Verfahren der Achsen etc.
- *Instandhalter* bringen vor allem eine ausgeprägte *Systemtransparenz* ein, die sich auf Informationen über interne Steuerungs- und Datenabläufe gründet. Bei der Bewältigung komplexer Störungen kommt Informationen aus dem Bereich des Maschinensystems eine große Bedeutung zu, wie z.B. den Prüfergebnissen von Daten- und Signalflüssen. Die Benutzungstransparenz von Instandhaltern betrifft stärker die Handhabung von Funktionen zur Analyse des Maschinensystems.

In der Zusammenarbeit können beide voneinander profitieren: der Instandhalter, indem der Werker ihm den Störungsverlauf im Kontext des Bearbeitungsprozesses schildert und das Betätigen der Maschinenfunktionen übernimmt, und der Werker, indem er etwas über Datenflüsse und Prüfmöglichkeiten erfährt und zukünftig einige Prüfungen selbst vornehmen kann. Eine gelingende kooperative Störungsbewältigung zeichnet sich durch einen Erfahrungstransfer aus, in dessen Verlauf beide anhand eines konkreten Störfalles nachvollziehen, wie der andere jeweils denkt. Dies äußert sich beispielsweise, wenn Werker als Ergebnis ihres Vorgehens günstige Voraussetzungen für die Arbeit der Instandhalter schaffen. So fuhrten die Werker in den Untersuchungen des öfteren die Maschine in einen Zustand, der für die Instandhalter besonders aussagekräftig war. Voraussetzungen für einen funktionierenden Erfahrungsaustausch bestehen in gegenseitiger Wertschätzung der jeweils anderen Ar-



beit und in einem gleichberechtigten Umgang miteinander. In diesem Zusammenhang sind organisatorische Rahmenbedingungen angesprochen, die an dieser Stelle nicht vertieft werden können. Sie betreffen u.a. eine Förderung der Herausbildung gemeinsamer Ziele, z.B. über die Formulierung nur gemeinsam zu erfüllender Hauptaufgaben, oder schaffen Möglichkeiten für zufällige Begegnungen und Absprachen.

### **3. Anforderungen an ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem**

Aus den dargestellten Befunden zur Störungsbewältigung von Werkern und Instandhaltern und den darauf bezogenen Defiziten herkömmlicher Diagnosesysteme lassen sich aus Sicht von Anwendern und Herstellern Anforderungen an ein Diagnosemodul ableiten, die in Tabelle 3 zusammengefaßt sind:

Zur Umsetzung dieser Anforderungen wurde im Projekt HÜMNOS zunächst ein Gesamtkonzept für ein Diagnosesystem erarbeitet. Darauf aufbauend wurden anschließend einige Benutzungsfunktionen zur Unterstützung der Bewältigung von Wiederholstörungen in einem Diagnosemodul spezifiziert und realisiert.

### **4. Konzept für ein einheitliches und erfahrungsförderliches Diagnosesystem**

Zur Umsetzung der verschiedenen Anforderungen von Herstellern und Anwendern wurde im Rahmen des Projektes HÜMNOS ein umfassendes Diagnosekonzept entwickelt, das – wie in Abbildung 4 dargestellt – anhand der Aufgabenbereiche Störungsbewältigung, Anlagentransparenz und Störungsvermeidung strukturiert wird. Dabei wurde auf Ergebnisse der Projekte AIS (Anlageninformationssystem, gefördert vom Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg) und MoWiMa (Modellierung und Wiederverwendung von Maschinen, gefördert vom BMBF) sowie auf Erfahrungen mit einem bei Daimler-Benz entwickelten Diagnosesystem zurückgegriffen (vgl. Anders u.a. 1997).

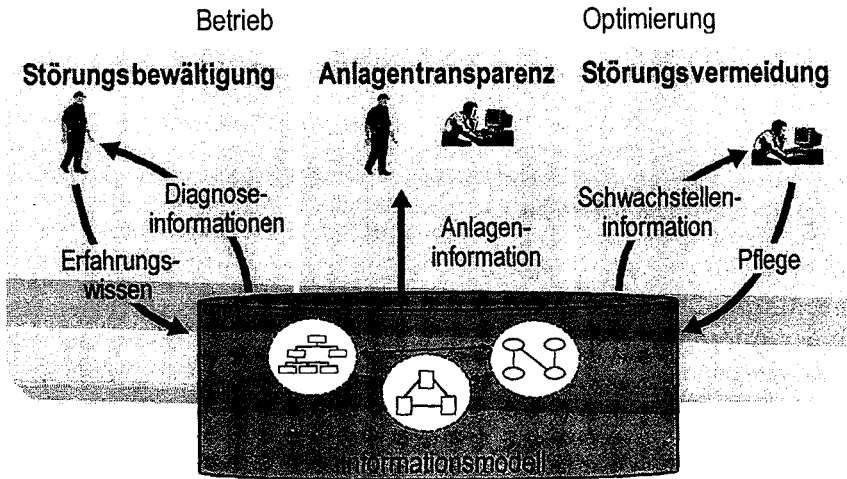


Fokus	Anforderung
<b>Erfahrungs- basierte Störungs- bewältigung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterstützung aller Abschnitte der Handlungssequenz durch Benutzungsfunktionen</li> <li>• Bereitstellung der Benutzungsfunktionen entsprechend dem Ablauf der Handlungssequenz</li> <li>• Unterstützung der Wiederanfahrt in ihrer Rückkopplungsfunktion</li> <li>• Unterstützung der Bewältigung von Wiederholstörungen und von neuen Störungen</li> <li>• Unterstützung bei der Archivierung und Bereitstellung symptombezogener Erfahrungswerte</li> <li>• Unterstützung der Vorgehensweisen des „tastenden Suchens“, des „Eingrenzens“ sowie der „kooperativen Störungsbewältigung“</li> </ul>
<b>Transparenz und Benutzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angebot umfangreicher Orientierungsmöglichkeiten (z. B. über die Störungshistorie, Behebungsmaßnahmen, Systemaufbau)</li> <li>• Nutzerorientierte und herstellerübergreifende Vereinheitlichung der Interaktionsprinzipien</li> </ul>
<b>Offene Schnittstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie- und herstellerübergreifende Verwendung von Diagnosefunktionalitäten</li> <li>• Festlegung einer einheitlichen und offenen Schnittstelle zwischen Steuerungs- und Maschinenkomponenten</li> </ul>
<b>Wiederverwendbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung von Verfahren zur systematischen Verwaltung und Bereitstellung von Anlagendokumenten</li> <li>• Übergreifende Nutzung der Nutzererfahrungen zur Optimierung ähnlicher Baugruppen</li> </ul>

**Tab. 3: Anforderungen von Anwendern und Herstellern**

Es werden sowohl Tätigkeiten in der Produktion (Betrieb) als auch Tätigkeiten zur Veränderung von Anlagen (Optimierung) im Umfeld der Diagnose berücksichtigt. Durch Auswertungen systematisch erfasster erfahrungsbezogener Informationen können im Zuge einer *Optimierung* Schwachstellen aufgedeckt und beseitigt werden. Damit soll das Diagnosesystem, basierend auf den Erfahrungen von Werkern und Instandhaltern, dazu beitragen, Störungen im Vorfeld zu vermeiden, Stillstandszeiten zu verringern und dadurch die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen. Die Koppelung von Störungsbewältigung und Störungsvermeidung über ein

Informationsmodell ermöglicht es, eine Optimierung von Anlagen durchgängig auf Daten aufzubauen, die während des Betriebes der Anlage erfaßt wurden.



**Abb. 4: Aufgaben des Diagnosesystems**

#### 4.1 Unterstützung der erfahrungsbasierten Störungsbewältigung

Eine erfahrungsbasierte Störungsbewältigung von Werkern und Instandhaltern läßt sich durch einen handlungsorientierten Aufbau der Benutzungsschnittstelle des Diagnosemoduls unterstützen. Dadurch können Informationen und Funktionen entsprechend der Reihenfolge der Handlungsabschnitte bei der Störungsbewältigung angeboten werden. Dem Nutzer werden einerseits relevante und erfahrungsbezogene Diagnoseinformationen für jeden Handlungsabschnitt bereitgestellt, andererseits kann er Erfahrungswerte situationsspezifisch dokumentieren.

Durch die Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen der Kategorie symptombezogener Erfahrungswerte hilft das Diagnosesystem dem Werker, sich an vergangene, ähnliche Diagnosefälle zu erinnern. Eine darauf aufbauende Verarbeitung von Informationen der Kategorie „Vorgehensweisen“ könnte die Lücke zur Bewältigung neuer Störungen schließen. Im Gegensatz zur Beschreibung von Ursachen und Maßnahmen sind hier jedoch wesentlich komplexere Zusammenhänge zu be-

schreiben, beispielsweise die Verwendung eines Meßgerätes, um einen Kabelbruch einzukreisen. Der hohe Aufwand zur Beschreibung von Vorgehensweisen und zur Pflege der Datenbasis ist erst dann vertretbar, wenn es gelingt, erfaßte Vorgehensweisen aus einem anlagenspezifischen Fall zu verallgemeinern und für andere Anlagenvarianten wiederzuverwenden. Dazu ist im Vergleich zur Unterstützung symptombezogener Erfahrungswerte ein höherer Aufwand insbesondere bei der Anlagenmodellierung zu berücksichtigen.

## 4.2 Steuerungsintegration

Die Anforderung von Anwendern nach einer steuerungsübergreifend einheitlichen Benutzungsschnittstelle der Diagnose läßt sich gemeinsam mit der Anforderung der Hersteller nach einem einheitlichen Diagnosesystem für alle Anlagen durch den *Einsatz offener Steuerungen* umsetzen. Offene Steuerungen bieten technologie- und herstellerübergreifend einheitliche Kommunikationsmechanismen zwischen verschiedenen Steuerungsmodulen. Die Aufgaben der Diagnose wurden dazu im Projekt HÜMNOS in eine Primär- und eine Sekundär-Diagnose gegliedert. Generalisierbare Funktionen, wie die Verwaltung von Fehlermeldungen oder das Verarbeiten von Erfahrungswerten, sind der Sekundär-Diagnose zu-

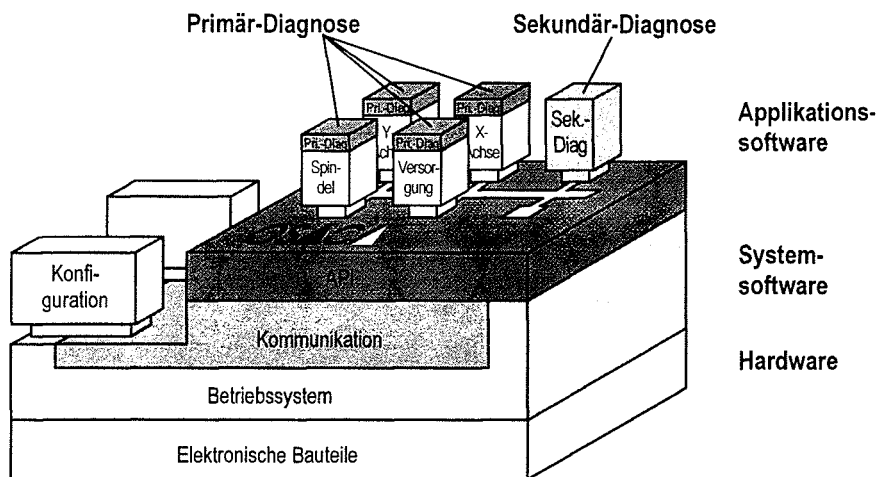


Abb. 5: Einbettung der Diagnose in eine offene Steuerung

geordnet. Im Gegensatz dazu können bestimmte Funktionsabläufe der Diagnose nur von der Steuerung koordiniert werden. Funktionen zur Überwachung, zur Fehlererkennung und zur Reaktion auf Fehler gehören daher zur Primär-Diagnose. Die Einbindung der Diagnosefunktionen in die offene OSACA-Steuerung wird in Abbildung 5 verdeutlicht.

Die OSACA-Steuerungsarchitektur besteht aus einer Steuerungsplattform und darauf instanziierten Architektur-Objekten (AO), die über die Plattform miteinander kommunizieren können (vgl. Sperling, Lutz 1996). Die Gliederung in Primär- und Sekundär-Diagnose ist in der Verteilung der Steuerungsaufgabe auf AOs wiederzuerkennen. Die Primär-Diagnose ist Bestandteil jedes AO der Plattform (Eigen-Diagnose). Funktionen der Sekundär-Diagnose sind in separaten AOs zusammengefaßt. Die Kommunikation zwischen Architektur-Objekten der OSACA-Plattform findet mittels Kommunikationsobjekten statt, die eine Kommunikation zwischen zwei AOs ermöglichen. Als Schnittstelle zwischen Primär- und Sekundär-Diagnose wurde ein Kommunikationsobjekt definiert, durch das beliebige AOs der OSACA-Plattform Diagnoseereignisse – wie beispielsweise Fehlermeldungen oder Warnungen – an die Sekundär-Diagnose senden können. Die Sekundär-Diagnose greift weiterhin auf Kommunikationsobjekte der AOs zu, um relevante Zustandsgrößen – beispielsweise die Ist-Position einer Vorschubachse – auszulesen und anzuzeigen. Relevante Zustandsgrößen eines jeden AOs müssen also in Kommunikationsobjekten gespiegelt werden, damit sie während der Fehlersuche bei Bedarf abgefragt werden können.

Die Kommunikationsschnittstelle für Diagnoseereignisse ist so spezifiziert, daß der Informationsfluß während des Betriebs lediglich von der Primär- zur Sekundär-Diagnose stattfindet. Dadurch werden Wechselwirkungen zwischen der Steuerung und dem Diagnosesystem vermieden, die Sekundär-Diagnose übernimmt lediglich beobachtende Aufgaben, und der Aufwand für eine Integration der Diagnose in eine offene Steuerung ist minimal.

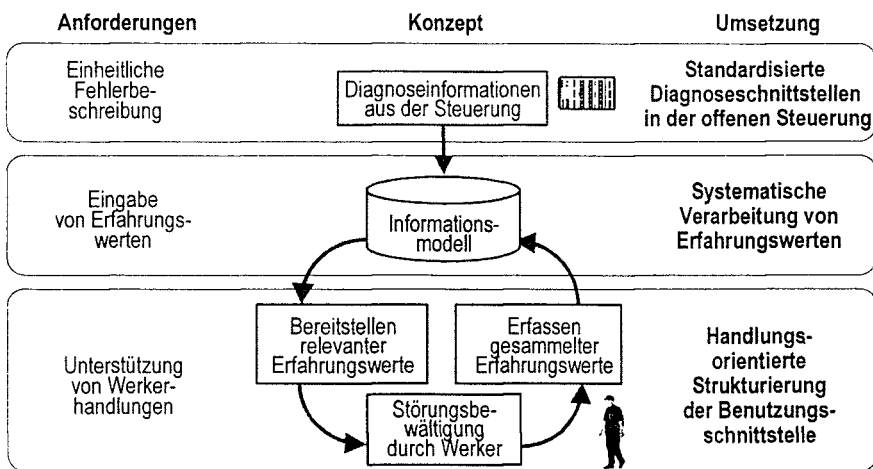
### 4.3 Transparenz und Benutzung

Durch eine Aufbereitung von Informationen, die es dem Produktionsmitarbeiter erleichtert, einen Überblick über System, Prozeß und Benutzung zu erhalten, kann die Transparenz erhöht werden. Anlagendokumente (Stromlaufpläne, mechanische Konstruktionszeichnungen) werden dazu

nach situationsspezifischen Kriterien bereitgestellt, indem sie mit Daten aus der Steuerung und erfaßter erfahrungsbezogener Information der Produktionsmitarbeiter (Ursachen und Maßnahmen) verknüpft werden. Basierend auf den Möglichkeiten offener Steuerungen können Informationen über den aktuellen Zustand der Anlage abgefragt werden.

## 5. Realisierung des HÜMNOS-Diagnosemoduls

Das im HÜMNOS-Projekt realisierte Diagnosemodul beschränkt sich auf die Verarbeitung von *Informationen der Kategorie symptombezogener Erfahrungswerte* (vgl. Litto 1998). Ein Vergleich mit Abbildung 1 zeigt, daß ein entsprechendes Diagnosesystem die Werker in etwa 70 bis 85 % der Störungsfälle direkt unterstützen kann. In Abbildung 6 ist der Grundgedanke der Realisierung des HÜMNOS-Diagnosemoduls zur Unterstützung von Wiederholstörungen dargestellt.



**Abb. 6: Werkerorientiertes Diagnosekonzept**

Diagnoseinformationen der offenen Steuerung und Erfahrungswerte, die Werker bei der Bewältigung von Störungen gesammelt haben, werden in einem Informationsmodell systematisch abgebildet. Wiederholen sich Störungen, werden relevante Informationen aus dem Modell bereitgestellt.

Es entsteht ein Kreislauf von Erfahrungswerten, der für die Unterstützung des Werkers und für die Aktualität des Modells von Bedeutung ist.

## 5.1 Realisierung einer systematischen Verarbeitung von Erfahrungswerten

Für die Wiederverwendung von Erfahrungswerten ist eine textuelle Dokumentation von Störungen nicht geeignet, da relevante Informationen nicht systematisch erfaßt und abgebildet werden können. Die Analyse der Anforderungen aus Nutzersicht hat ergeben, daß Werker Störungen durch die Angabe des Entstehungsortes und der Ursache sowie der Maßnahmen zur Behebung beschreiben und klassifizieren.

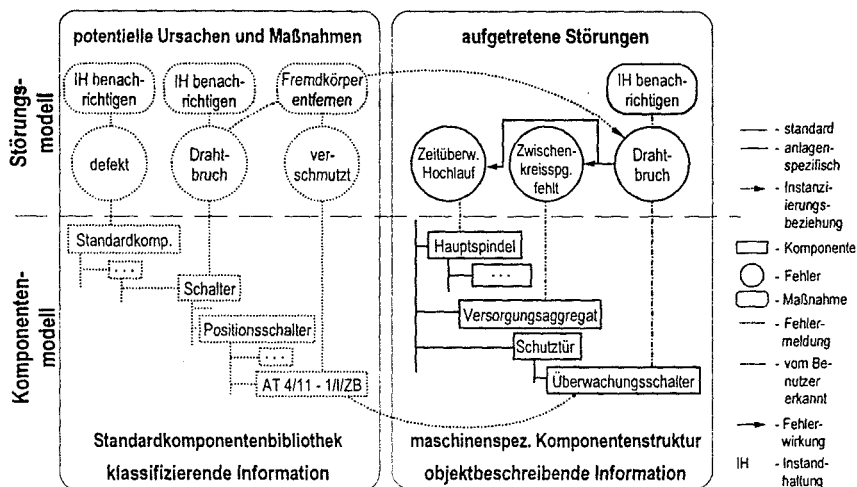


Abb. 7: Informationsmodell

Das in Abbildung 7 dargestellte Informationsmodell hat die Aufgabe, Informationen aus der Steuerung mit den Erfahrungen der Werker zusammenzuführen. Wie in Abbildung 8 verdeutlicht, besteht es aus zwei Teilmodellen. Im *Komponentenmodell* werden bauliche und softwaretechnische Komponenten einer Maschine strukturiert. Auf dem Komponentenmodell baut das *Störungsmodell* auf, in dem Störungen durch Diagnoseereignisse der offenen Steuerung und Erfahrungswerte der Werker abgebildet werden.

Um den Aufwand zur Modellierung einer spezifischen Maschine zu minimieren, wird – in Anlehnung an die Objektorientierung (vgl. Booch 1994) – zwischen *klassifizierenden* und *objektbeschreibenden Informationen* unterschieden. Während in der klassifizierenden Hälfte maschinenübergreifend wiederverwendbare Daten abgebildet werden, enthält die objektbeschreibende Hälfte die Abbildung einer konkreten Maschine. Im Komponentenmodell wird daher zwischen einer Bibliothek von Standardkomponenten und einer maschinenspezifischen Komponentenstruktur unterschieden (vgl. Lutz, Lewek 1997). Über Verbindungen zwischen beiden Beschreibungsformen – wie in Abbildung 7 am Beispiel des Überwachungsschalters vom Typ AT4/11-1/I/ZB gezeigt – kann für jede spezifische Komponente auf Informationen der Bibliothek zurückgegriffen werden. Dort werden Referenzen zu geeigneten Dokumenten, beispielsweise Übersichtsgraphiken, Funktionsbeschreibungen oder Fotos, hergestellt (vgl. Brandl 1997).

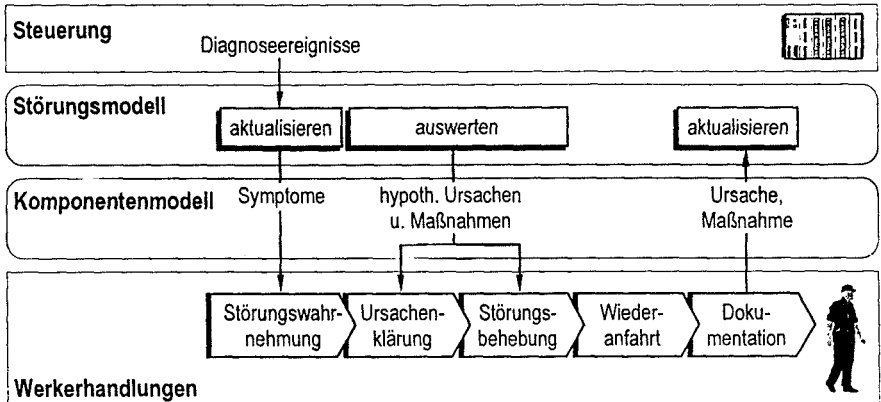
Im Störungsmodell werden den Standardkomponenten *potentielle Ursachen und Maßnahmen* zugeordnet. Die Vererbungshierarchie der Bibliothek ermöglicht es dabei, Eigenschaften mehrerer Standardkomponenten zusammenzufassen. Die potentielle Ursache „Drahtbruch“ ist beispielsweise der Standardkomponente „Schalter“ zugeordnet, da sie bei allen Schaltern der Komponentenbibliothek auftreten kann.

Die oben rechts in Abbildung 7 dargestellte Störung wurde durch die Steuerung erkannt, und durch die Diagnoseereignisse „Zeitüberwachung Hochlauf“ für die Hauptspindel und „Zwischenkreisspannung fehlt“ für das Versorgungsaggregat gemeldet. Der Werker hat während der Ursachenklärung festgestellt, daß der Sicherheitskreis durch einen Drahtbruch am Überwachungsschalter der Schutztür unterbrochen war. Dadurch wurde die Zwischenkreisspannung abgeschaltet, was zur Folge hatte, daß die Spindel ihre Solldrehzahl nicht erreichte. Die Störung wurde vom Instandhalter behoben und vom Werker dokumentiert.

Das grundlegende Prinzip der Störungsmodellierung liegt darin, sowohl Diagnoseereignisse der Steuerung als auch Störungsursachen, die von Fachkräften identifiziert wurden, als Fehler einer Störung zu verstehen. Eine Beschreibung durch *Fehler und Fehlerwirkungen* ermöglicht es, Störungen in einer beliebigen Detaillierung, abhängig von der Auflösung der Komponentenstruktur und der Anzahl der pro Störung abgebildeten Fehlerwirkungen, darzustellen.



Der auf dem Informationsmodell basierende Kreislauf von Erfahrungswerten ist in Abbildung 8 verdeutlicht. Eine Störung wird i.d.R. durch Überwachungsfunktionen der Steuerung erkannt, die relevante Informationen als Diagnoseereignisse (Fehler, Warnungen etc.) bereitstellen. Sie werden verwendet, um das Störungsmodell zu aktualisieren. Verknüpft mit Informationen aus dem Komponentenmodell werden sie dem Anwender als Fehler der Störung angezeigt, um den Handlungsabschnitt der Störungswahrnehmung zu unterstützen.



**Abb. 8: Verarbeitung von Erfahrungswerten**

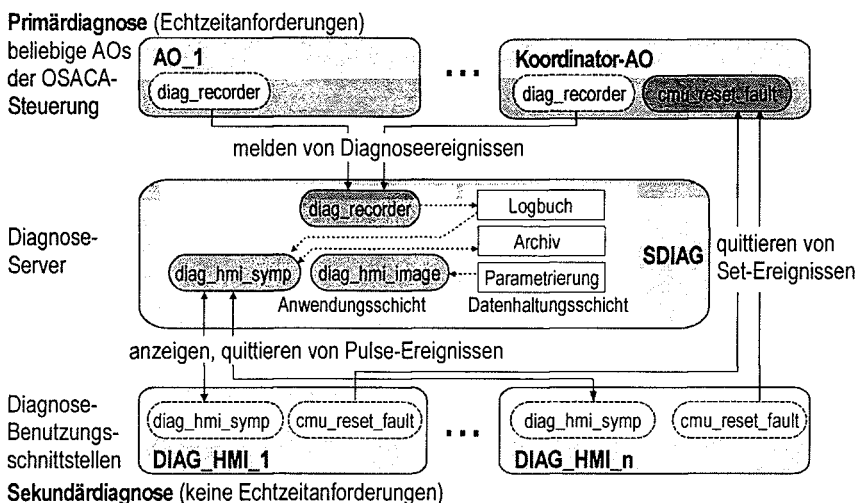
Für die Handlungsabschnitte Ursachenklärung und Störungsbehebung werden relevante Erfahrungswerte durch Auswertung des Störungsmodells bestimmt und als *hypothetische Ursachen und Maßnahmen* bereitgestellt. Nach der erfolgreichen Bewältigung einer Störung dokumentiert der Werker die gewonnenen Erfahrungen (Ort, Ursache, Maßnahme). Im einfachsten Fall bestätigt er eine der vom System bereitgestellten hypothetischen Ursachen und Maßnahmen. Trat eine neue Störung auf, dokumentiert er im ersten Schritt den verursachenden Ort, indem er die entsprechende Komponente selektiert. Daraufhin werden potentielle Ursachen und Maßnahmen für diesen Ort aus dem Modell abgefragt und angezeigt. Der Werker selektiert eine zutreffende Ursachen-Maßnahmen-Kombination und schließt damit die Dokumentation ab. Wenn eine Ursache lokalisiert wurde, die nicht in der Liste potentieller Ursachen aufgeführt ist, wählt der Werker die allgemeine Ursache „defekt“ mit der Maßnahme „Instandhalter benachrichtigen“ (Abb. 7). Die Bibliothek potentieller Ursachen und Maßnahmen kann anschließend vom Instandhalter



erweitert werden, damit die neue Ursache künftig genauer spezifiziert und bereitgestellt werden kann.

## 5.2 Realisierung standardisierter Diagnoseschnittstellen

Die im Diagnosemodul realisierten Funktionen der Sekundär-Diagnose (s. Abb. 5) sind – wie in Abbildung 6 verdeutlicht – durch einen Diagnose-Server und über Diagnose-Benutzungsschnittstellen in die OSACA-Steuerung eingebettet.



**Abb. 9: Einbettung in die offene Steuerung**

Der *Diagnose-Server (SDIAG)* besteht aus einer Datenhaltungs- und einer Anwendungsschicht. Die Datenhaltungsschicht ist durch Logbuch, Archiv und Parametrierung definiert. Im Archiv wird das Informationsmodell bereitgestellt. Die Funktionen der Anwendungsschicht (Erfassen, Symptome bereitstellen etc.) sind durch OSACA-Prozessobjekte strukturiert, die während der Laufzeit des Servers nach Bedarf angelegt und gelöscht werden. Die Benutzungsschnittstellen sind als Client-AOs mit dem Diagnose-Server und dem Koordinator der Steuerung verbunden.

Diagnoseereignisse werden in der Primär-Diagnose erkannt und direkt durch das standardisierte Kommunikationsobjekt *diag\_recorder* an den

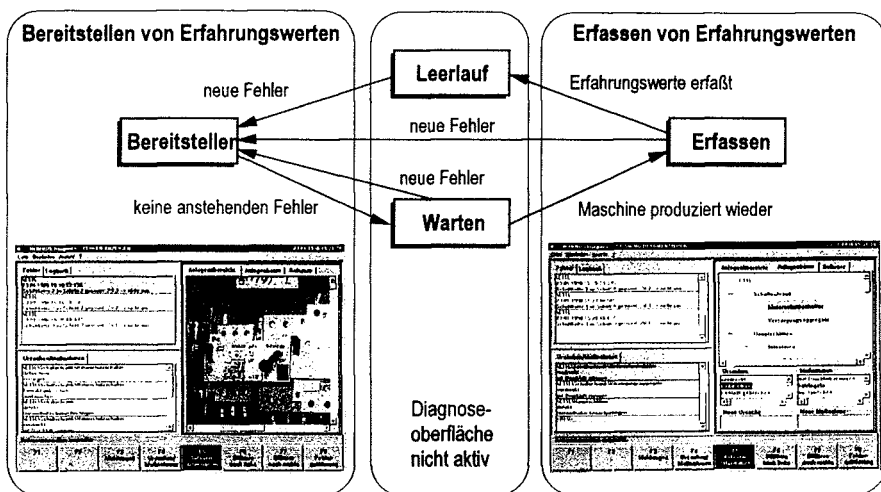
Diagnose-Server gemeldet. Da die Güte der Abbildung einer Störung im Störungsmodell von der Anzahl der Fehler abhängt, ist es für das Ergebnis späterer Auswertungen von Bedeutung, daß bei einer Störung möglichst viele Diagnoseereignisse gemeldet werden. Eine Vorfilterung in der Primär-Diagnose würde die Wahrscheinlichkeit, daß eine bereitgestellte hypothetische Ursache die tatsächliche Ursache einer vorliegenden Störung angibt, verringern.

Diagnoseereignisse werden in *Set-Ereignisse*, die von der Primär-Diagnose gesetzt und zurückgesetzt werden (z.B. Schutztür geöffnet/geschlossen), und *Pulse-Ereignisse*, die von der Primär-Diagnose nur gesetzt werden (z.B. kurzzeitiger Fehler im Drehstromnetz), unterschieden. Die gemeldeten Ereignisse werden in das Logbuch eingetragen, das Modell wird aktualisiert und Symptome werden zur Anzeige an die Benutzungsschnittstellen übertragen (*diag\_hmi\_symp*). Quittiert der Benutzer eine Störung, werden die Pulse-Ereignisse direkt im Diagnose-Server gelöscht (*diag\_hmi\_symp*) und die Set-Ereignisse über das Koordinator-AOs quittiert (*cmu\_reset\_fault*). Der Koordinator versucht, AOs, die sich im gestörten Zustand befinden, in einen ungestörten Zustand zu versetzen. Bei diesem Übergang müssen AOs gemeldete Set-Ereignisse zurücksetzen.

### 5.3 Realisierung einer handlungsorientierten Benutzungsschnittstelle

Der Kreislauf von Erfahrungswerten wird durch verschiedene Betriebszustände der Benutzungsschnittstelle unterstützt, die durch den in Abbildung 10 dargestellten Zustandsgraphen des *diag\_hmi*-AOs beschrieben sind.

Das AO ist nach dem Start im *Leerlauf*-Zustand. Es wird keine Diagnoseoberfläche angezeigt. Werden Diagnoseereignisse von der Steuerung gemeldet, schaltet das AO in den Zustand *Bereitstellen* und unterstützt die Handlungsschritte Störungswahrnehmung, Ursachenklärung und Störungsbehebung (vgl. Abb. 8). Stehen keine Fehler mehr an, schaltet es in den Zustand *Warten*, wodurch die Diagnoseoberfläche nicht mehr angezeigt wird. Erst wenn die Maschine wieder produziert, wechselt das AO in den Zustand *Erfassen*. Die Oberfläche unterstützt nun den Handlungsschritt *Dokumentieren*. Wenn ein Fehler gemeldet wird, schaltet das *diag\_hmi*-AO aus einem beliebigen Zustand in den Zustand *Bereitstellen*.

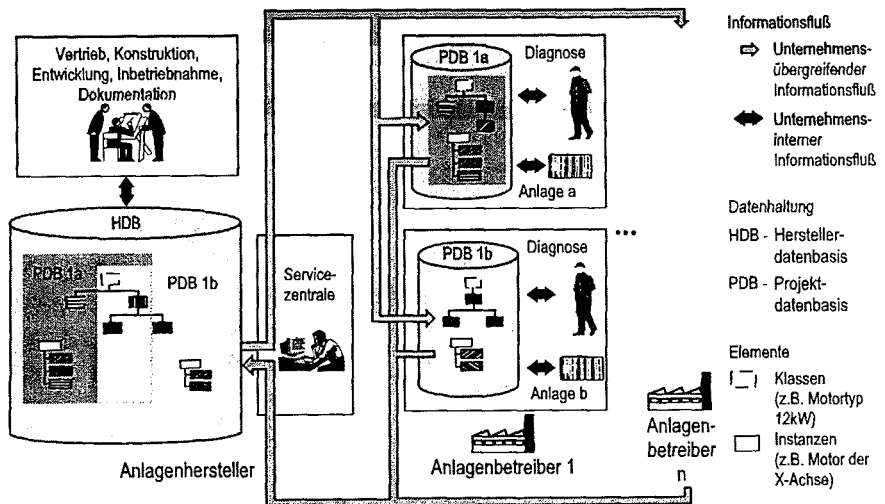


**Abb. 10: Handlungsorientierte Benutzungsschnittstelle**

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Das im Rahmen des HÜMNOS-Projektes entwickelte Diagnosekonzept eröffnet umfassende Möglichkeiten, um die aus Nutzersicht sowie die von Anwender- und Herstellerunternehmen genannten Mängel heutiger Diagnosesysteme zu beheben und damit die Akzeptanz offener Steuerungen zu erhöhen. In dem im Rahmen des HÜMNOS-Verbundes realisierten Diagnosemodul wurden innerhalb eines Kreislaufs von Erfahrungswerten die in der Maschine aufgetretenen Störungen systematisch erfasst und in einem Informationsmodell abgebildet. Damit wurde den Werkern eine Unterstützung bei Wiederholstörungen angeboten, die sich in ersten Evaluationen als sehr hilfreich herausgestellt hat (vgl. den Beitrag von Schulze u.a. in diesem Band, S. 113 ff.). Durch die Erfassung und Verarbeitung erfahrungsbezogener Informationen entsteht eine Datenbasis, die über die Unterstützung der Nutzer hinaus als Grundlage für Schwachstellenanalysen und gezielte konstruktive Verbesserungen verwendet werden kann. Weiterhin stehen dem Hersteller statistische Daten zur Verfügung, die eine systematische Abschätzung der zu erwartenden Verfügbarkeit neuer Anlagen ermöglichen.

Das Diagnosemodul ist auf der Basis des im HÜMNOS-Verbund entwickelten Gesamtkonzepts zukünftig um Funktionen für die Unterstützung der Bewältigung von neuen Störungen wie auch um solche zur Unterstützung der Störungsvermeidung zu ergänzen. Um letztere auch beim Hersteller durchführen zu können, ist das Modul so weiterzuentwickeln, daß ein durchgängiger Informationsfluß zwischen Anwendern und Herstellern möglich wird. Eine besondere Rolle spielt dabei eine objektorientierte Struktur des Informationsmodells, in der grundlegend zwischen klassifizierender Information (Bautypen eines Endschalters, Softwareklassen eines Architekturobjektes etc.) und instanzenspezifischer Information (Seriennummer eines Antriebes, Logbuch einer Anlage etc.) unterschieden wird.



**Abb. 11: Herstellerübergreifendes Informationsmodell**

Über die Servicezentrale des Herstellers können Erfahrungen aus dem Betrieb einer Anlage für andere Anlagen des gleichen Typs wiederverwendet werden. Dies erfordert eine tiefergehende Kooperation zwischen Herstellern und Anwendern mit dem Ziel, den Informationsfluß zu intensivieren. Auf diesem Wege lassen sich letztendlich auch die Verfügbarkeiten von Fertigungseinrichtungen erhöhen. Die Grundlage hierfür stellt das im Projekt HÜMNOS entwickelte Konzept zur Verfügung.